

# **EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL PEIT SOBRE LA FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS**

**BELÉN MARTÍN, SANTIAGO MANCEBO, EMILIO ORTEGA y ELENA LÓPEZ**

**TRANSyT**

Centro de Investigación del Transporte-Universidad Politécnica de Madrid  
ETSI Caminos, Canales y Puertos. Av. Profesor Aranguren, s/n. 28040 MADRID  
smancebo@caminos.upm.es

## **RESUMEN**

El fenómeno de la fragmentación de hábitats es una de las mayores amenazas para la conservación de la biodiversidad. Las infraestructuras lineales de transporte están consideradas como uno de los principales agentes responsables de este fenómeno, por su efecto de ruptura de las unidades ambientales que atraviesan. Sin embargo, la inclusión de los efectos sobre la fragmentación en las metodologías de evaluación es escasa y desigual, existiendo una gran variedad de índices de fragmentación en la literatura.

En esta comunicación se evalúan los efectos sobre la fragmentación de hábitats derivados de las actuaciones previstas en el recientemente aprobado Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020 (PEIT). En concreto, el análisis se centra en los efectos producidos por las nuevas infraestructuras de la red de gran capacidad de carreteras y de altas prestaciones ferroviaria.

El proceso seguido consiste en el cálculo de una serie de índices de fragmentación y el posterior análisis comparativo de los resultados obtenidos con cada uno de ellos. Para ello se ha contado con el apoyo de un Sistema de Información Geográfica (SIG), lo cual ha permitido una mayor facilidad en el cálculo y representación gráfica de resultados. El análisis realizado permite detectar qué actuaciones de las incluidas en el PEIT suponen un mayor riesgo de fragmentación y diseñar en consecuencia las medidas correctoras necesarias para mitigar sus efectos adversos.

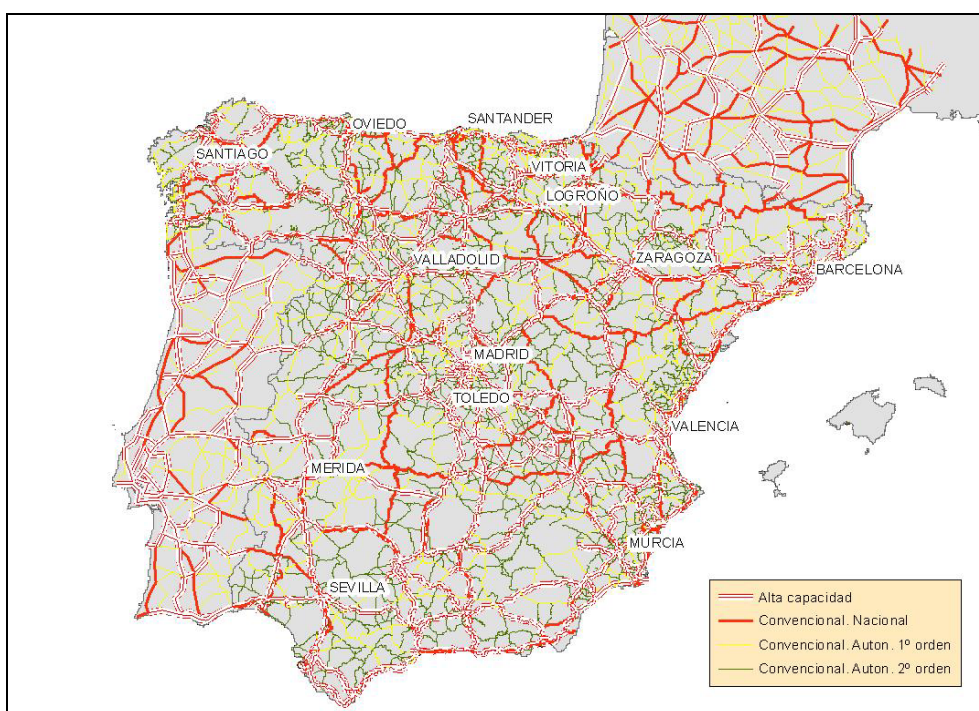
## **1. INTRODUCCIÓN**

El fenómeno de la fragmentación de hábitats es una de las mayores amenazas para la conservación de la biodiversidad. Las infraestructuras lineales de transporte están consideradas como uno de los principales agentes responsables de este fenómeno, por su efecto de ruptura de las unidades ambientales que atraviesan. Sin embargo, la inclusión de los efectos sobre la fragmentación en las metodologías de evaluación es escasa y desigual, existiendo una gran variedad de índices de fragmentación en la literatura (1).

En esta comunicación se evalúan los efectos sobre la fragmentación de hábitats derivados de las actuaciones previstas en el recientemente aprobado Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020 (PEIT). En concreto, el análisis se centra en los efectos producidos por las nuevas infraestructuras de la red de gran capacidad de carreteras y de altas prestaciones ferroviaria.

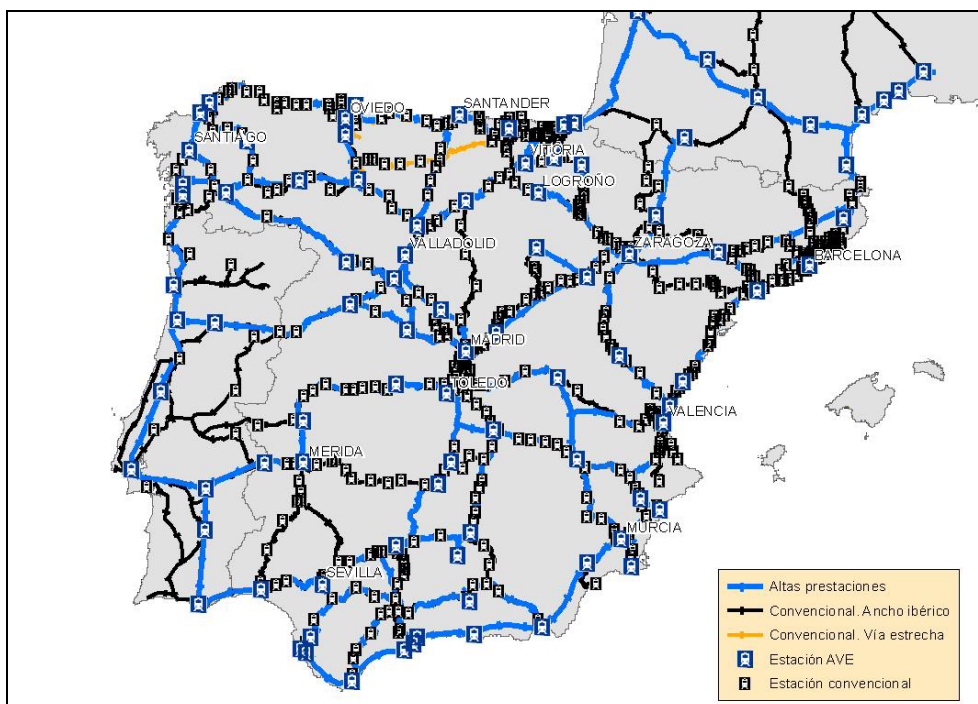
El recientemente aprobado Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT) 2005-2020 (2) constituye el instrumento en el que se enmarcan las actuaciones en infraestructuras y transporte de competencia estatal en el medio-largo plazo, y supondrá una inversión total cercana a los 250 miles de millones de euros. De entre el conjunto de actuaciones incluidas en el PEIT, las que más interés tienen para el tema que nos ocupa son las inversiones previstas en infraestructuras de las redes de Altas Prestaciones de carreteras y ferrocarriles.

Por un lado, las actuaciones en nuevas infraestructuras en vías de gran capacidad para el transporte por carretera tienen entre sus objetivos principales el ampliar la red hasta los 15.000 km en 2020, reduciendo su marcada radialidad hasta dotarla de una estructura mallada, con el cierre de itinerarios transversales y longitudinales, como el eje del Duero o la autovía de la Plata. De esta forma, se contribuye a un desarrollo territorial más equilibrado, tal como recomienda la Estrategia Territorial Europea (ETE) (1) y se facilita la cooperación transfronteriza y la integración en las redes transeuropeas de transporte. Las actuaciones previstas en la red de gran capacidad, que suponen el 12,9% del presupuesto total del PEIT, se incluyen en la Figura 1.



**Figura 1.** Red de carreteras en el año 2020 según el PEIT

Las actuaciones previstas en el sistema ferroviario, por su parte, incrementarán la longitud de la red ferroviaria de Altas Prestaciones hasta alcanzar los 9000 km en 2020 aproximadamente, con una participación presupuestaria del 33,5 %. El objetivo fijado por el PEIT es que, de manera progresiva, el sistema ferroviario se convierta en el elemento central para la articulación de los servicios intermodales de transporte, tanto de viajeros como de mercancías. Las actuaciones previstas en la red de Altas Prestaciones ferroviaria se incluyen en la Figura 2.



**Figura 2.** Red de ferrocarriles en el año 2020 según el PEIT

En relación con el tema que nos ocupa, una de las cuestiones clave incluidas en el PEIT es la consideración de los impactos del transporte sobre el medio ambiente. Particularmente, el PEIT admite el importante deterioro en el medio ambiente provocado por la construcción de las infraestructuras y reconoce que, aunque las medidas correctoras introducidas en las Declaraciones de Impacto Ambiental intentan paliar algunos de sus efectos negativos, “difícilmente podrán eliminar la progresiva ocupación del territorio y su fragmentación, con efectos muy negativos sobre la biodiversidad” (2).

La fragmentación es un proceso por el cual una entidad, el hábitat, se divide en unidades de menor tamaño llamadas “teselas” y se caracteriza por una disminución del área total del hábitat y su ruptura en partes. Las teselas nuevas, formadas a partir de una de mayor superficie, tendrán características muy semejantes entre sí (3) pero también características propias debidas a su tamaño, forma, bordes, etc.

Como consecuencia de su propia definición, la fragmentación provocará un incremento del número de teselas, una disminución del tamaño medio de cada una de ellas y un aumento de la superficie de contacto entre teselas de diferentes clases. Por otro lado, el término fragmentación también incluye otros aspectos de los cambios en los ecosistemas, aparte de su forma, composición y configuración, como son los relacionados con la pérdida de biodiversidad, flujo de nutrientes, etc.

La interacción de la forma y el tamaño de las teselas puede afectar a un gran número de procesos ecológicos. La forma de las teselas influye en procesos que tienen lugar entre las teselas, como la migración de pequeños mamíferos, la colonización de algunas plantas (4) y en las estrategias de alimentación de algunas especies (5). En cualquier caso, el significado de la forma de las teselas en el paisaje está íntimamente relacionado con el “efecto borde”, y debe ser interpretado de la misma forma que éste (4).

El “efecto borde” en el paisaje es importante para muchos fenómenos ecológicos, se ha prestado mucha atención al comportamiento de las poblaciones influidas por este efecto. En muchas

investigaciones ecológicas, gran parte de la importancia que le otorga a la configuración espacial del paisaje, reside en el “efecto borde”. Éste debe ser observado desde una perspectiva centrada en el organismo, puesto que hay gran variabilidad en cuanto al comportamiento de las distintas especies en relación con este fenómeno (4).

Las nuevas infraestructuras de transporte, unidas a las ya existentes son potenciales generadoras de fragmentación de hábitats y pueden causar un notable impacto sobre la diversidad biológica (6). Los principales efectos de las infraestructuras de transporte sobre el paisaje son consecuencia de la presencia física en el territorio de la vía y del tráfico que circula por ella. Entre ellos se encuentran la pérdida de hábitat, las perturbaciones como el ruido y el incremento de accesibilidad al medio natural, la mortalidad de individuos y el efecto barrera.

La aplicación de medidas correctoras intenta reducir o compensar los efectos de la fragmentación de hábitats causada por las infraestructuras de transporte, pero aún tomando estas medidas introducidas en las Declaraciones de Impacto Ambiental, se debe tener en cuenta que La Directiva 92/43/CEE establece como principio básico evitar la afectación a los hábitats y especies prioritarios incluidos en la Red Natura 2000.

La finalidad de La Red Natura 2000 es asegurar la conservación de hábitats y especies, entre las que se encuentran muchas seriamente amenazados.

En la Red Natura 2000 se integran los espacios designados como ZEPAS por la Directiva de Aves (79/409/CEE) y los espacios designados para el cumplimiento de la Directiva de Hábitats (92/43/CEE), conocidos en su primera fase como Lugares de Importancia Comunitaria o LIC.

Cada Estado miembro de la Unión Europea es responsable de presentar unos lugares de interés comunitario suficientes para garantizar la conservación de los hábitats y especies de interés comunitario (recogidos en los anexos I y II de la Directiva Hábitats), creándose una red de lugares en los que se asegurará la conservación de esos lugares y el mantenimiento de la función para la conservación de esos lugares aplicando medidas preventivas, correctoras y compensatorias ante los posibles impactos ambientales que habrán de ser previstos en cada uno de los lugares.

La conservación de hábitats y especies precisa de una gestión integral del territorio que contemple a los seres humanos y sus actividades como a un factor más que incide del sistema natural (siendo conscientes de que ésta no tiene por que afectar siempre negativamente en su conservación). Para ello deberá evaluarse la adecuación de las actividades en función del nivel de protección que requieran las áreas localizadas, consideradas como partes de una unidad ambiental coherente.

## **2. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1 Información de hábitats**

Se ha utilizado como referencia sobre tipos y localización de los hábitats, el Mapa de Hábitats elaborado por la Dirección General de Biodiversidad (7) desarrollado bajo la directiva europea de hábitats. También se ha empleado el mapa de Lugares de Interés Comunitario, LICs, elaborado por la misma dirección general y aprobado por la Comisión Europea (8).

## 2.2 Indicadores utilizados

Para medir la fragmentación causada por el PEIT se eligieron, por un lado, indicadores que miden la composición y la forma del paisaje, como son el número de teselas y la relación perímetro área, y por otro, estimaciones de la biodiversidad basados en la relación especies-área (o SAR) que mide la relación entre el área del hábitat y la riqueza de especies.

### **Relación Perímetro-Área (PARA):**

Es la relación entre el perímetro y el área de cada tesela:  $PARA = \frac{P_{i,j}}{A_{i,j}}$

La relación perímetro área cuantifica la complejidad de la forma de las teselas, lo que puede ser importante para ciertos procesos ecológicos. Por ejemplo, una tesela que tenga una forma cuadrada o circular tendrá, para una misma superficie, menos borde, que una tesela con una forma más alargada o sinuosa, y por lo tanto será más sensible a perturbaciones externas. Cuanto mayor sea esta relación, mayor es la complejidad de la tesela y mayor es la fragmentación.

### **Relación Especies Área (SAR):**

El área de cada tesela es quizás la información más útil e importante que contiene el paisaje desde el punto de vista ecológico, de hecho la presencia y la abundancia de muchas especies está íntimamente correlacionada con el tamaño de la tesela (9).

La mayoría de las especies requieren un área mínima para su supervivencia, esto es el área de la tesela de hábitat donde vive una especie, debe ser mayor que el área mínima que necesita para su viabilidad.

El crecimiento con el área de la riqueza en especies (“relación especies-área” o SAR), es una de los supuestos empíricos más robustos en ecología (10; 11) y se puede aproximar a una función potencial de la forma  $S = CA^z$

donde:

- S: Número de especies en la tesela.
- A: Área de la tesela.
- Z: Constante (pendiente de la función transformada en logarítmica).

Para estudiar el comportamiento de SAR se usa la función  $\log S = C + z \cdot \log A$ . Ésta es lineal en escalas que van desde aproximadamente 1 ha hasta  $10^7 \text{ Km}^2$  y no tiene asíntotas (12). Además los valores de su pendiente z, obtenidos de forma empírica, están entre 0,15 y 0,40 dependiendo de la especie que se considere (13).

La pérdida de área es una consecuencia de la fragmentación del territorio, y se puede interpretar como una reducción de biodiversidad de acuerdo con la relación especies-área.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Escenarios

Los indicadores de fragmentación se calcularon en dos escenarios. El primero corresponde a la situación inicial, y el otro, refleja los efectos de las diferentes actuaciones del PEIT previstas para el año 2020 sobre los hábitats.

El escenario de referencia corresponde a la situación actual, en el año 2005 (diciembre). Contiene la información correspondiente a los hábitats unida a las infraestructuras de transporte por carretera y la red ferroviaria de altas prestaciones presentes en ese momento.

El otro escenario está formado por el escenario de referencia más las infraestructuras de transporte por carretera previstas en el PEIT para el año 2020.

El resultado se obtiene como diferencia de los valores resultantes en cada uno de los escenarios, en porcentaje respecto a la situación inicial:

$$\text{Variación del indicador} = \frac{|I_{\text{peit}} - I_{\text{cero}}|}{I_{\text{cero}}} \times 100$$

#### 3.2 Cálculo de los indicadores

Para el cálculo de los indicadores se utilizó una metodología basada en SIG en formato vectorial, que permitió estudiar cómo se ven afectados los perímetros y las áreas de todos los polígonos (o teselas) que constituyen cada hábitat, al ser atravesados por las infraestructuras de transporte que el PEIT ha incorporado o incorporará al territorio.

En primer lugar se reúne toda la información disponible sobre los hábitats españoles presentes en el anexo 1 de la Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, que potencialmente, podrían verse afectados por las actuaciones previstas en el PEIT.

Después se crearon las redes de transporte que corresponden a cada escenario. En el escenario “cero”, considerado como situación inicial, la red contiene las infraestructuras de transporte por carretera y la red ferroviaria de altas prestaciones presentes en el año 2005. La red correspondiente al escenario “PEIT” contiene las mismas infraestructuras que el escenario cero añadiendo tanto las infraestructuras de transporte por carretera, como las de ferrocarril de altas prestaciones, previstas en el PEIT con el horizonte temporal del año 2020.

Partiendo de estas redes, se determina la zona de ocupación de las infraestructuras como un corredor de 100 metros de ancho. Estos corredores se superponen al mapa de hábitats, formando los dos escenarios, que quedan definidos por los polígonos que componen los hábitats y por las infraestructuras de transporte que corresponden a cada uno de ellos. Así, cada escenario, en sus entidades poligonales, contiene información sobre el perímetro y el área de cada tesela de hábitat, tanto de los que se forman al romper los hábitats con las infraestructuras de transporte, como de aquellos que no se ven afectados por las mismas. Los cálculos de los indicadores descritos, y la comparación con la situación inicial son sencillos, reduciéndose a un análisis de la información contenida en las tablas de atributos asociadas.

Para el cálculo de la estimación de la pérdida de la biodiversidad se considera el valor medio de las pérdidas calculadas para el mínimo y el máximo valor del exponente ( $z$ ) de la relación especies-área. No se ha usado el valor medio de este exponente al no ser lineal la ecuación.

Una vez calculados los indicadores tesela a tesela en todos los escenarios, se superponen a los LICs de la Red Natura 2000, con el objetivo de poder analizar los hábitats que pertenecen a estas figuras de protección. De esta manera, se realizaron resúmenes estadísticos de los resultados, clasificados por LIC y por tipo de hábitat. La agregación realizada ha consistido, en todos los casos, en una media ponderada a la superficie, relativizando, en consecuencia, la importancia de los resultados de cada tesela a la superficie de dicha tesela.

$$I_{clase} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \times Ai}{\sum_{i=1}^n Ai}$$

#### 4. RESULTADOS

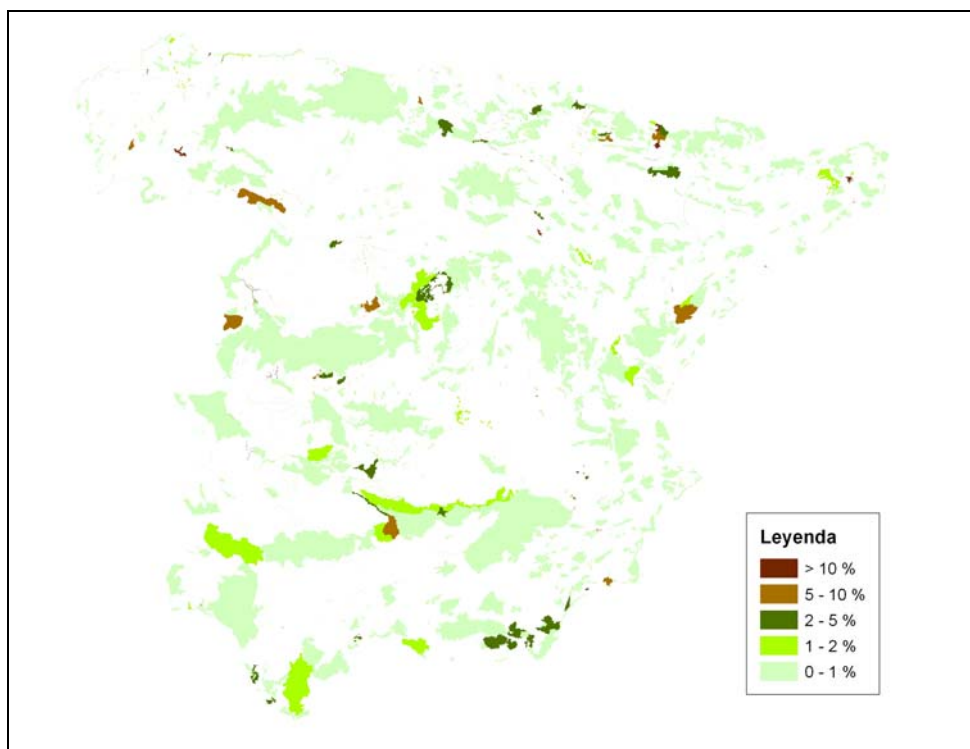
Como valor total que resume ambos indicadores, se toma la media de los valores obtenidos para cada LIC, ponderada con el área de todos los LICs españoles presentes en la Península Ibérica.

Según los resultados obtenidos en este estudio, la construcción de las infraestructuras previstas en el PEIT, supondrá que en los 15 años que separan los dos escenarios, se perderá un 0,45 % de la biodiversidad presente en los LICs.

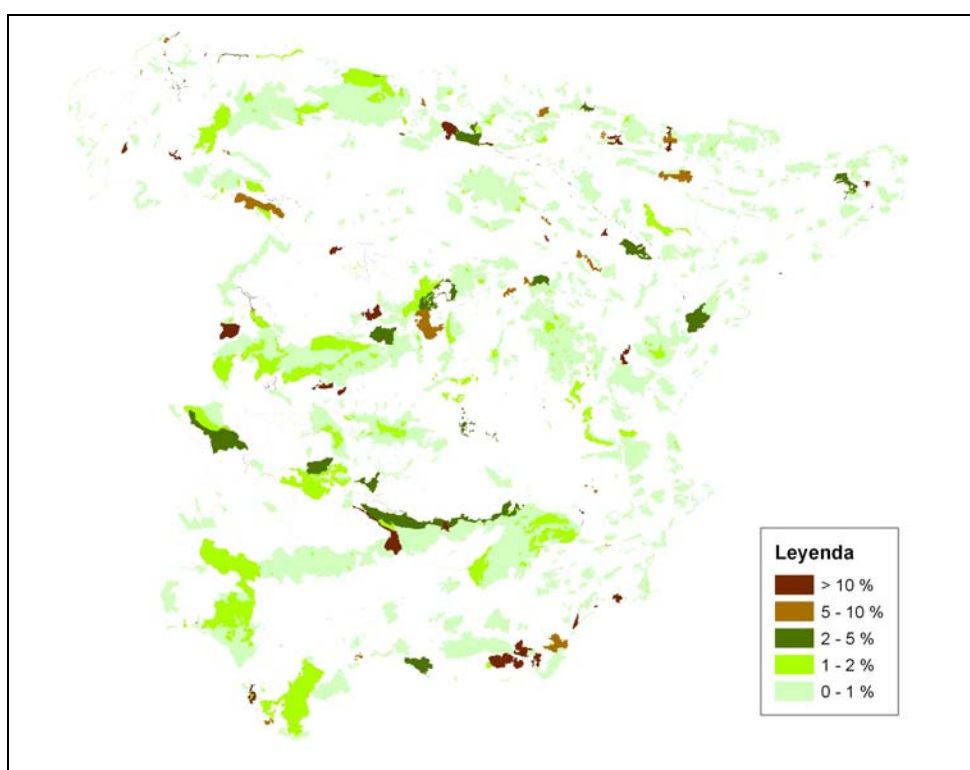
La relación perímetro área en el mismo intervalo de tiempo aumentará un 1,12 %, aumento que va ligado a la sensibilidad a las perturbaciones externas de los hábitats que pertenecen a dichos LICs.

En primer lugar se muestran las figuras 3 y 4, en la que se representan todos los LICs de la España peninsular y se puede observar la pérdida de biodiversidad y la variación en la relación perímetro-área, en porcentaje, de cada uno de ellos. También se muestra la distribución de las variaciones (figuras 5 y 6).



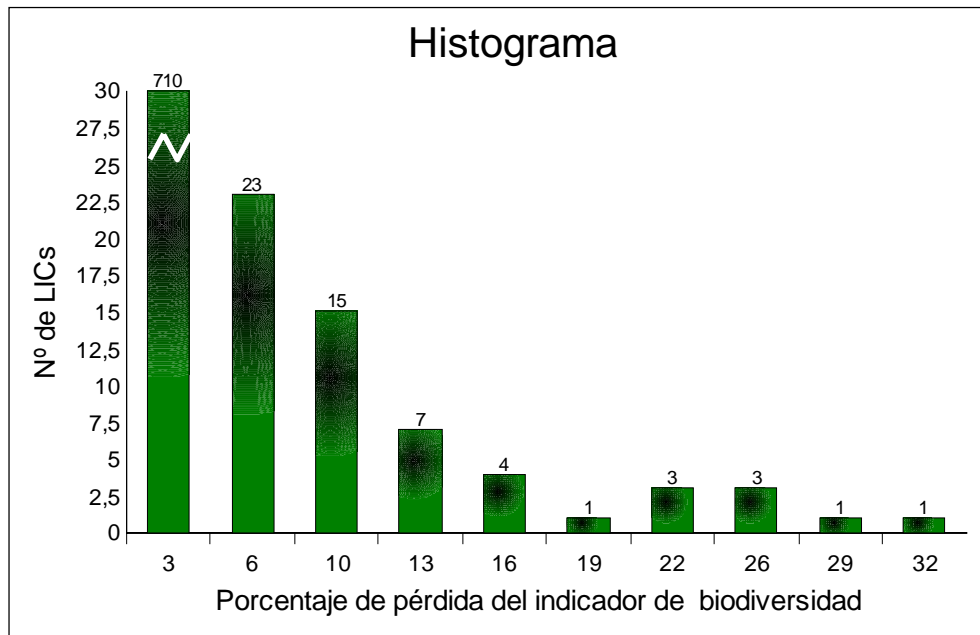


**Figura 3.** Pérdida de biodiversidad en los LICs

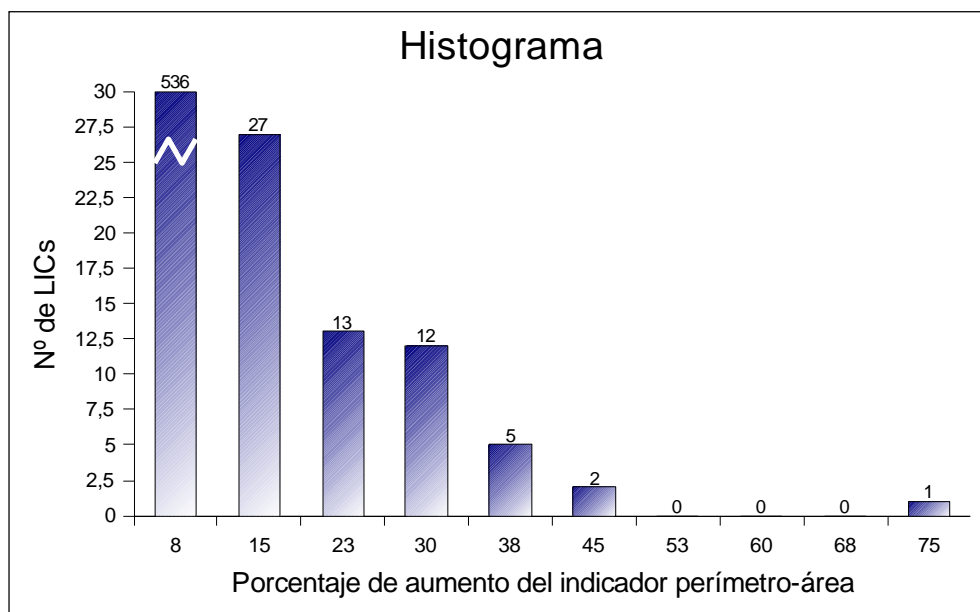


**Figura 4.** Variación en la relación perímetro-área en los LICs





**Figura 5.** Distribución de la pérdida de biodiversidad en los LICs



**Figura 6.** Distribución de la variación en la relación perímetro-área en los LICs

Analizando las figuras, se puede observar que en la mayoría de los LICs la pérdida de biodiversidad y la variación en la relación perímetro-área que sufrirán es reducida, sin embargo, existe un número considerable en los que esta pérdida alcanza unos valores que se deben tener en cuenta y analizarlos por separado para intentar minimizar la afección que sufren.

A continuación se presenta la tabla 1, en la que se exponen algunos ejemplos y se explican las causas.

**Tabla 1.** Ejemplos de LICs con pérdida de biodiversidad o variación en la relación perímetro-área

<b>Código LIC</b>	<b>Área LIC (ha)</b>	<b>Variación (%)</b>
ES4310017	402,39	32,06 % de pérdida de biodiversidad
ES4150100	36064,63	6,89 % de pérdida de biodiversidad
ES4250010	14492,77	1,15 % de pérdida de biodiversidad
ES5120017	476,68	75,32 % de variación del indicador PARA
ES6130001	38390,53	44,39 % de variación del indicador PARA

A la vista de los resultados, nos encontramos con varias situaciones destacables:

En el caso de los LICs ES4310017 y ES5120017, tenemos que el porcentaje de pérdida de biodiversidad y la variación en la relación perímetro-área, respectivamente, son muy elevados, esto se debe a que el área del LIC es muy pequeña y cualquier afección que se realice sobre él provocará una disminución importante de su superficie, por lo que se debería evitar atravesar estos LICs con escasa superficie.

En el caso de los LICs ES4150100 y ES6130001, que también sufren variaciones importantes (6,9 % y 44,4 %), la situación es diferente ya que su superficie es muy grande, lo que quiere decir que se han visto muy afectados por las nuevas infraestructuras.

Por último, se puede presentar casos como el tercer ejemplo (ES4250010), que, aunque es atravesado por las nuevas vías, la pérdida sufrida apenas es del 1 %.

En la tabla 2 se presentan algunos casos destacados de hábitats que se ven afectados de manera significativa por el Plan. Así, el hábitat con una mayor pérdida de biodiversidad (9,7%), código 8310 “Cuevas no abiertas al público”, presenta una situación parecida a la que se da con ciertos LICs de escasa superficie. Este hábitat presenta un gran número de teselas que se identifican con un pequeño círculo por ser entradas a cuevas y, por tanto, su superficie es muy reducida. Por otro lado existe una gran tesela que supone la mayor parte del área (311 de las 323 ha dentro de los LICs peninsulares) afectada por actuaciones tanto en carreteras como en ferrocarriles.

Entre los hábitats con una mayor pérdida de biodiversidad, el de mayor superficie es importante por la magnitud de la afección. Así, el hábitat con código 6310 “Dehesas de *Quercus* spp.”, con casi 650.000 ha protegidas podría sufrir una pérdida de casi el 1% de su biodiversidad. Asimismo, las dehesas sufrirían un incremento de más del 3% en la relación perímetro-área, lo que se puede interpretar como un aumento en la presión sobre este hábitat de la misma magnitud.

**Tabla 2.** Ejemplos de hábitats con pérdida de biodiversidad o variación en la relación perímetro-área

<b>Código Hábitat</b>	<b>Área Hábitat (ha)</b>	<b>Pérdida de biodiversidad (%)</b>	<b>Variación de la relación perímetro-área (%)</b>
8310	314,41	9,65	69,73
1330	1251,42	3,46	9,96
5220	10698,98	2,29	13,95
6310	647349,95	0,94	3,11

## 5. CONCLUSIONES

Es viable el análisis de la fragmentación causada por planes de infraestructuras en territorios extensos a escalas de análisis de gran detalle. El modelo vectorial finalmente seguido en el estudio ha resultado ser más rápido, sencillo y efectivo que los modelos tradicionales en raster implementados en aplicaciones informáticas, como las últimas versiones del conocido FRAGSTATS, desarrollado en la Universidad de Massachussets.

La mayoría de los LICs, y los hábitats que protegen, no se ven afectados por las infraestructuras planteadas en el PEIT, sin embargo, existe un cierto número de ellos que se ve afectado en gran medida, lo que sugiere que en esos casos se debería evitar el paso de las infraestructuras por estas zonas o buscar medidas compensatorias.

Conviene estudiar los casos en los que se producen las mayores alteraciones, ya que en algunas ocasiones, el poco nivel de detalle de las actuaciones existentes a nivel de plan podría ocasionar la obtención de resultados que no se corresponden con la realidad, lo que podría llevar a una toma de decisiones incorrecta. Tal es el caso de los LICs y hábitats de menor superficie.

Considerando la incertidumbre consecuencia de la indefinición de las actuaciones a nivel de plan, así como en la definición de los hábitats y en los indicadores de biodiversidad, la pérdida de biodiversidad en la Red Natura en los próximos 15 años rondará el 0,45 %.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Comisión Europea (1999): ETE. Estrategia territorial europea. Oficina de Publicaciones Oficiales, Luxemburgo.
- (2) Ministerio de Fomento (2005). PEIT: Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020. Secretaría General Técnica. Ministerio de Fomento, Madrid.
- (3) Forman, R.T.T. (1995). Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- (4) McGarigal, K., and B.J. Marks (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR.
- (5) Forman, R.T.T. and M. Godron (1986). Landscape Ecology. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, USA.
- (6) Rosell, C., Álvarez, G., Cahill, S., Campeny, R., Rodríguez, A., & Seiler, A. (2003). COST 341. La fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras de transporte en España. Ministerio de Medio Ambiente, 317 pp. Madrid.
- (7) DGBIO (1995). Mapa de Hábitats. Dirección General de la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente.
- (8) DGBIO (2005). Mapa de LICs. Dirección General de la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente.
- (9) Robbins, C. S., D. K. Dawson, and B. A. Dowell (1989). Habitat area requirements of breeding forest birds of the middle Atlantic states. Wildl. Monogr. 103. 34 pp.
- (10) May, R. M. (1975). Patterns of species abundance and diversity. Pages 81-120 in M. L. Cody and J. M. Diamond, editors. Ecology and evolution of communities. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- (11) Rosenzweig, M. L. (1995). Species diversity in space and time. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- (12) Williamson, M, K. J. Gaston, and W. M. Lonsdale (2001). The species-area relationship does not have an asymptote!. Journal of Biogeography, 28, 827-830
- (13) Williamson, M. (1988) Relationship of species number to area, distance and other variables. Analytical biogeography (eds.A. Myers and P.S. Giller), pp. 91-115. Chapman & Hall, London.